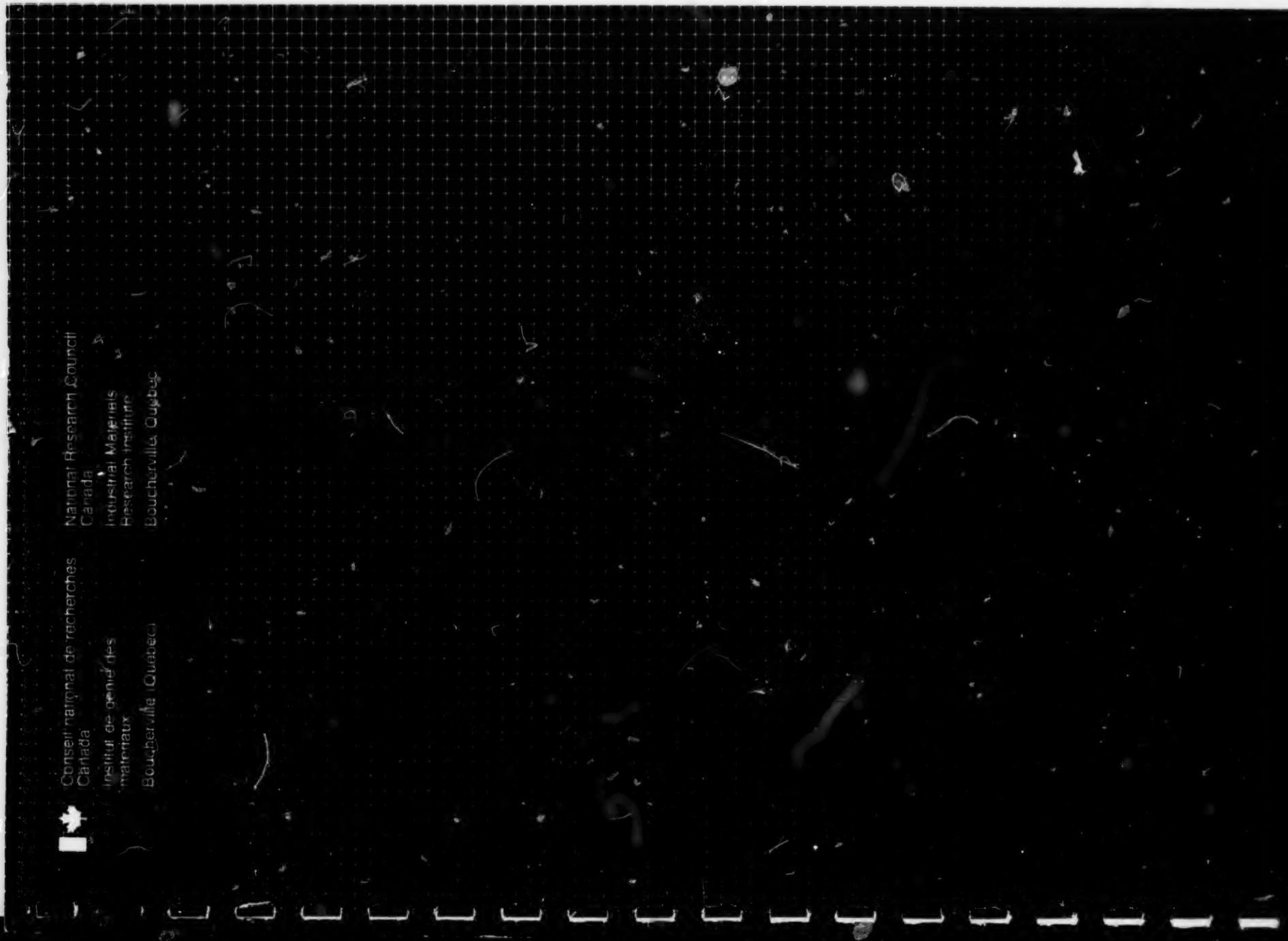
CONCEPTION ET EVALUATION D'UNE MACHINE D'USURE/IMPACT



IGM86-204-457
CNRC 26748

CONCEPTION ET ÉVALUATION D'UNE MACHINE D'USURE/IMPACT

Par:

Yves Thériault

Institut de génie des matériaux
Conseil national de recherches Canada

Novembre 1986

TABLE DES MATIÈRES

Page

Table des matières.....i

Liste des figures.....iii

Liste des tableaux.....iv

Résumé.....v

1. INTRODUCTION.....1

2. CONCEPTION DU MONTAGE.....2

2.1 Cahier des charges.....2

2.2 Caractéristiques et fonctionnement.....3

3. PROCÉDURE D'UTILISATION.....4

3.1 Généralités.....4

3.2 Test d'abrasion.....5

3.2.1 Installation et enlèvement du tapis abrasif.....5

3.2.2 Réglages pour essai-type.....6

3.2.3 Préparation de l'échantillon.....7

3.3 Tests d'abrasion/impact.....8

3.3.1 Impact direct.....8

3.3.2 Impact indirect.....9

4. ESSAIS PRÉLIMINAIRES.....10

Page

4.1 Tests de reproductibilité.....10
4.1.1 Conditions expérimentales.....10
4.1.2 Résultats et observations.....11

4.2 Influence de la courroie.....11

4.3 Influence de la longueur du trajet d'abrasion.....12

4.4 Essais d'impact.....12

5. DÉVELOPPEMENTS FUTURS.....14

6. CONCLUSION.....15

REMERCIEMENTS.....16

RÉFÉRENCES.....17

Annexe I.....38

Annexe II.....40

LISTE DES FIGURES

Figure — Page

1 Dimensions de l'échantillon d'usure.....19

2 Machine d'usure/impact - Module A.....20

3 a) Machine d'usure/impact - Détails de la région d'impact.....22
b) Machine d'usure/impact- Dipositif de mesure de la distance parcourue.....23

4 a) Machine d'usure/impact - Modules B et C.....24
b) Machine d'usure/impact - Moteurs d'entraînement.....25

5 a) Machine d'usure/impact - Module de contrôle.....26
b) Machine d'usure/impact - Détails du module de contrôle.....27

6 Graphique du rapport de perte en usure en fonction de la distance parcourue sur la courroie abrasive.....28

7 Modification du porte-échantillon.....29

LISTE DES TABLEAUX

Tableau — Page

1 Caractéristiques principales de la machine d'usure/impact.....30

2 Liste des principales composantes de la machine d'usure/impact (fig. 2 à 5).....31

3 Composition chimique et dureté des matériaux utilisés pour les essais préliminaires.....33

4 Conditions expérimentales pour les tests de reproductilité.....34

5 Résultats des tests de reproductibilité.....35

6 Résultats des essais sur l'influence de la courroie abrasive.....36

7 Résultats des essais sur l'influence de la longueur d'abrasion.....37

RÉSUMÉ

Un montage expérimental a été construit à l'IGM dans le but d'étudier l'effet d'un chargement d'impact sur la résistance à l'usure abrasive de matériaux métalliques. Le présent rapport contient une description des étapes de la conception, des principales caractéristiques, ainsi que de la procédure d'utilisation du montage. On y présente également les résultats d'essais préliminaires effectués à des fins de mise au point. À la lumière de ces résultats, des améliorations immédiates et futures sont recommandées. Finalement, en plus de celle ci-haut mentionnée, d'autres études utilisant le montage d'usure-impact sont proposées.

1. INTRODUCTION

Des études [1,2] effectuées auprès des industriels ont clairement montré la nécessité d'accentuer les recherches en usure au Canada, en se penchant particulièrement sur l'usure abrasive. Ces mêmes études ont également identifié l'industrie minière comme un des secteurs sur lequel les efforts de recherche devraient surtout porter. Par conséquent, lors de la définition des projets en usure à l'IGM, il a été décidé d'orienter une partie des travaux de recherche du côté de l'usure abrasive des composantes de broyage de minerai. Des discussions avec les industriels concernés, il est apparu qu'il existait très peu de règles permettant de choisir parmi la panoplie de matériaux résistant à l'usure, celui convenant le mieux pour une application donnée. Donc, seuls les utilisateurs qui ont la capacité d'évaluer le comportement en service peuvent en arriver à un choix éclairé. Plusieurs industriels interrogés ont également mentionné l'influence, souvent négligée, des chocs entre les éléments de broyage sur le processus d'usure, ce qui nous a incité à nous pencher sur ce problème.

Il existe dans la littérature un certain nombre d'articles traitant de l'interaction impact-abrasion. Mentionnons entre autres les travaux de Bayer et al [3], de Rice [4], de White [5], de Blickensderfer et Forkner [6] et de quelques chercheurs soviétiques [7,8,9]. Cependant, les montages expérimentaux utilisés dans ces investigations étant ou trop spécifiques, ou trop encombrants, ou encore trop mal documentés, il nous est apparu nécessaire de développer une machine d'usure/impact plus appropriée aux genres d'études que nous voulions entreprendre et qui viendrait se joindre aux autres appareils de caractérisation déjà disponibles dans notre laboratoire d'usure.

Ce rapport décrit le mode de fonctionnement ainsi que la procédure d'utilisation de la machine usure/impact développée à l'IGM. On y retrouve également des résultats d'essais préliminaires de compréhension et des suggestions concernant des améliorations à apporter au montage. Bref, ce rapport se veut un document guide pour le futur utilisateur.

2. CONCEPTION DU MONTAGE

Une fois le problème défini, il reste à réaliser le montage expérimental qui permettra de l'étudier et éventuellement d'y appporter une ou des solutions. Parmi les étapes de réalisation du montage, la plus importante demeure sans conteste celle du design. Un mauvais design compliquera grandement l'étape de fabrication et conduira à des résultats expérimentaux, sinon erronés, du moins difficiles à interpréter. Processus exploratoire et créatif au départ, le design aboutit presqu'invariablement à un problème d'optimisation ayant entre autres comme variables le coût, la versatilité, la simplicité d'utilisation et l'encombrement.

Afin d'éviter d'alourdir inutilement le rapport, nous n'allons pas dans cette section énumérer les différentes avenues explorées au cours du design de la machine d'usure/impact, ni donner une description détaillée de ses nombreuses composantes; ceci ayant déjà été fait dans des documents antérieurs à ce rapport [10,11,12]. Nous nous limiterons plutôt à décrire le produit fini dans son ensemble à savoir, ses caractéristiques et éléments principaux ainsi que son mode de fonctionnement.

2.1 Cahier des charges

La ligne directrice du travail de concepteur fut de mettre au point une machine qui puisse générer des résultats en usure comparables avec ceux existant dans la littérature [13,14,15] en plus d'incorporer un effet d'impact jusqu'ici très peu étudié. Partant de cet impératif de base, les exigences suivantes devraient ensuite être satisfaites:

1- Montage de type "pin-test"
2- Vitesse d'abrasion variable
3- Abrasif renouvellé
4- Vitesse de rotation de l'échantillon variable
5- Distance d'abrasion variable
6- Énergie d'impact variable
7- Fréquence d'impact variable
8- Critère d'arrêt des essais fonction de la distance d'abrasion

9- Encombrement minimum

10- Utilisation sécuritaire.

De plus, il a été décidé que le montage serait fabriqué à l'atelier mécanique de l'IGM afin de faciliter les communications entre le concepteur et le fabricant et ainsi minimiser les erreurs de fabrication et d'assemblage.

2.2 Caractéristiques et fonctionnement

Les principales caractéristiques de la machine d'usure/impact, illustrées aux figures 2 à 5, sont énumérées au tableau 1, tandis que le tableau 2 liste les composantes numérotées sur les figures. Un schéma électrique du module de contrôle de la fig. 5 est présenté à l'annexe 1. De plus amples détails sur l'électronique de la machine peuvent être obtenus en consultant la référence [12]. Brièvement, le principe de fonctionnement du montage se décrit comme suit.

En mode abrasion, l'échantillon (13), entraîné par le moteur (24), frotte sur la courroie abrasive (17) sous l'action d'une charge statique lue par la cellule de charge (9) branchée sur le voltmètre (38). Cette charge statique est obtenue soit en compensant partiellement le poids de la plaque d'impact (3) et du cylindre-guide (15) avec les ressorts (5) et/ou en rajoutant des poids sur la plaque.

La courroie abrasive, entraînée par des rouleaux (11) couplés au moteur (31), se déplace également latéralement par le biais d'un mécanisme de vis sans fin (21). L'arrêt de l'essai se produit lorsque la distance parcourue sur la courroie atteint la valeur pré-sélectionnée sur le compteur (40) jumelé au dispositif de comptage (18).

En mode abrasion/impact, un impact répété se combine à l'abrasion de l'échantillon sur la courroie. La charge d'impact est obtenue en soulevant la plaque d'impact (3) par l'intermédiaire de l'embrayage pneumatique (27) entraîné par le moteur (25) et en la laissant retomber en chute libre. La hauteur de chute est réglée au moyen des interrupteurs (8). La fréquence des chocs s'ajuste à l'aide d'une minuterie incorporée au module de contrôle (35)

et déclenchée par l'interrupteur inférieur (8). Le signal d'impact, lu par la cellule (12) et amplifié au module (43), est enregistrée à la sortie du détecteur de crêtes (41).

Un impact indirect peut également être appliqué sur l'échantillon en laissant ce dernier en contact avec la courroie pendant que le disque (4) (alourdi au besoin de quelques poids) frappe la plaque d'impact (3).

3. PROCÉDURE D'UTILISATION

3.1 Généralités

L'utilisation du montage impact/abrasion ne présente aucun danger (ni pour l'utilisateur, ni pour le montage lui-même) et conduit à des résultats interprétables si les procédures décrites plus loin ainsi que les directives suivantes sont observées:

- Allouer un minimum de 30 minutes de réchauffement à l'électronique du montage avant de débuter les essais.

- S'assurer que le circuit de limite de course des rouleaux (22) est branché (position "EN").

- S'assurer que l'interrupteur supérieur de limite de course de la charge d'impact (8) est positionné de manière à éviter le contact entre le cylindre-guide (6) et la structure.

- S'assurer que la cellule de charge statique (9) est libérée de son support avant de monter la plaque d'impact (3) lors d'un test abrasion/impact.

- Ne jamais changer le sens de rotation de n'importe quel des moteurs sans avoir au préalable remis sa vitesse à zéro.

- Lorsque le système d'impact n'est pas utilisé, désenclencher

l'interrupteur inférieur de limite de course de la charge d'impact (8). Ceci coupe l'alimentation de la valve solénoïde (26) et évite ainsi sa surchauffe.

3.2 Test d'abrasion

3.2.1 Installation et enlèvement du tapis abrasif

- L'interrupteur "OFF/ON" du contrôleur du moteur (32) étant sur "ON" et l'interrupteur de direction étant sur "DROITE", amener les rouleaux à la position extrême droite sans toutefois faire déclencher l'interrupteur magnétique de limite de course (20).

  Note: Lorsqu'un des interrupteurs de limite de course est déclenché, l'alimentation aux moteurs est coupée. Pour redémarrer, remettre tous les potentiomètres de contrôle de vitesse des moteurs à zéro, mettre l'interrupteur du circuit de limite de course (22) en position "HORS", et appuyer sur le bouton "REDÉMARRAGE". Puis, inverser le sens de rotation du moteur (31) par l'intermédiaire de l'interrupteur de direction et remettre le moteur en marche à l'aide du potentiomètre de contrôle de vitesse. Déplacer les rouleaux jusqu'à ce que l'interrupteur de limite de course soit à nouveau désenclenché.

- Détendre les ressorts du rouleau-tendeur (16) de la courroie abrasive (17).

- Enlever les disque-guides (11) avants des rouleaux.

- Enlever la courroie abrasive en la faisant glisser sous le support avant de la table d'impact (10).

  Note: Les boulons fixant le support avant à la plaque de base (1) du montage ont été au préalable enlevés puisque la fixation complète de la table d'impact n'est pas nécessaire en mode abrasion.

- Remettre une courroie neuve et replacer les disques-guides.

- Amener les rouleaux à mi-course et tendre la courroie en comprimant les ressorts de tension (19). Pour une courroie normalement tendue, l'espacement entre le rouleau-tendeur et la plaque de base est d'environ 1 cm.

- Ramener les rouleaux à la position extrême-droite, i.e. tout juste avant que la courroie ne touche la bague du compte-tours (18).

3.2.2 Réglages pour essai-type

- Fixer le disque d'impact (4) en position de hauteur maximale.

- Soulever la plaque d'impact (3) à l'aide d'une cale de façon à introduire l'échantillon préalablement nettoyé et pesé (voir section 3.2.3).

- Fixer l'échantillon en serrant le collet.

- Descendre l'échantillon à environ 1 mm de la courroie à l'aide de la vis d'ajustement du support de la cellule de charge (7).
  Note: Lorsque l'échantillon se situe à 1 mm de la courroie, le support de la cellule de charge devrait être ajusté de façon à minimiser l'effort de flexion sur la cellule.

- Mettre l'échantillon en rotation horaire (position CW sur le contrôleur du moteur (24)) et régler la charge statique à appliquer en ajustant la tension des ressorts (5) supportant la plaque d'impact et/ou en ajoutant des poids au centre de la plaque d'impact. La vitesse de rotation est lue sur l'indicateur (44) en position échantillon.
  Note: L'échantillon doit être en rotation lors du réglage de la charge à cause de la variation de la force de friction entre l'arbre cannelé et son guide en fonction de la position angulaire de l'arbre. Une charge moyenne est alors obtenue. Afin de remédier à ce problème, une modification est proposée à la section 4.

- Sélectionner sur le compteur (40) la distance d'abrasion désirée

(1 compte = 2.54 cm) et ajouter 15 comptes à cette distance afin de permettre le réglage de la vitesse de la courroie.

- L'interrupteur de direction du contrôleur du moteur (31) étant sur "GAUCHE", ajuster la vitesse de rotation de la courroie à l'aide du potentiomètre.

  Note: La valeur lue sur l'indicateur de vitesse (44) en position "rouleau" est égale à la vitesse réelle de rotation multipliée par 3.67 (rapport d'engrenage entre l'arbre d'entraînement des rouleaux (29) et la vis d'avancement (21)).

- Mettre l'échantillon en contact avec la courroie au 15ième compte de l'indicateur (40) en tournant la vis de réglage du support de la cellule de charge.

- Lorsque l'essai est complété, l'alimentation au moteur est coupée et la lumière-témoin (37) s'allume.

- Remettre les contrôleurs à zéro avant d'appuyer sur le bouton de redémarrage (36).

- S'il reste suffisamment d'espace sur la courroie, remplacer l'échantillon et poursuivre avec un autre essai. Sinon, changer la courroie en suivant la procédure décrite à la section précédente.

3.2.3 Préparation de l'échantillon

- Machiner l'échantillon aux dimensions données à la figure 1.

- Polir la surface d'essai (fini 600 grit) à l'aide du montage fabriqué à cet effet.

- Nettoyer l'échantillon au bain ultrasonique pendant environ 5 minutes

- Rincer à l'eau du robinet et faire tremper dans un flacon d'acétone pendant 1 minute.

- Sécher l'échantillon à l'air chaud.
  Attention: Éviter de respirer les vapeurs d'acétone.

- Peser l'échantillon au 0.1 mg près.

- Effectuer l'essai d'abrasion ou d'abrasion/impact, sinon ranger l'échantillon dans le dessicateur.

- Après chaque essai, répéter les étapes de nettoyage et de pesée afin d'obtenir la perte en poids d'usure.
  Note: Une fois l'échantillon nettoyé, le manipuler avec des pinces propres pour éviter la contamination avant pesée.

3.3 Test d'abrasion/impact

Note: Le dispositif d'impact n'étant pas tout à fait au point, la procédure qui suit ne peut être considérée comme définitive.

3.3.1 Impact direct

- Fixer le disque d'impact (4) à la plaque d'impact.

- Installer la courroie selon la procédure décrite à la section 3.2.1.

- Ajuster la charge statique à appliquer de la même façon que pour un test d'abrasion.

- Régler la hauteur de chute de la charge d'impact en ajustant la hauteur de l'interrupteur de course supérieur (8). La valeur maximum de la charge d'impact est obtenue par l'intermédiaire du détecteur de crêtes (41).
  Note: Pour ne pas utiliser inutilement la courroie d'essai, il est préférable d'effectuer le réglage de la charge d'impact sur une courroie usée.

- Ajuster le temps d'abrasion à l'aide du potentiomètre bleu situé sur le

panneau relais à l'intérieur du module de contrôle.

- Soulever la table d'impact jusqu'à ce que l'interrupteur de course inférieure se désenclenche. Ceci a pour effet de désactiver l'embrayage (27).

- Régler la vitesse de montée de la charge d'impact à l'aide du contrôleur (34).

- Ajuster les vitesses de rotation des rouleaux et de l'échantillon par l'intermédiaire des contrôleurs (32) et (33).

- Désengager la cellule de charge statique de son support pour ne pas entraver la montée de la charge d'impact.

- Ajuster la distance d'abrasion sur l'indicateur (40).
  Note: La distance correspondant à la lecteur de l'indicateur est égale à la distance réelle d'abrasion plus le temps entre deux i pacts successifs fois la vitesse de la courroie.

- Redescendre la table d'imact pour amener l'échantillon en contact avec la courroie.

- Après la fin de l'essai, enlever, nettoyer et peser l'échantillon.

- Changer la courroie abrasive s'il y a lieu.

3.3.2 Impact indirect

- Séparer le disque et la table d'impact.

- Obtenir la charge d'impact requise en fixant des poids au disque d'impact.

- Les étapes suivantes de la procédure demeurent essentiellement les mêmes que celles énumérées à la sous-section précédente.

4. ESSAIS PRÉLIMINAIRES

Dans le but de mettre au point le montage et d'en connaître les caractéristiques de fonctionnement, des essais préliminaires ont été effectués. Ces essais devront sans doute, du moins en partie, être répétés lorsque les dernières modifications (voir section 5) auront été apportées au montage.

4.1 Tests de reproductibilité

Le système d'application de la charge d'impact n'étant pas tout à fait au point au moment des essais, la reproductibilité de la machine d'usure/impact fut déterminée uniquement en mode abrasion. Un coefficient de variation, COV, inférieur ou égal à 7% fut choisi comme critère de reproductibilité tel que couramment employé en pratique [16]. Rappelons que le coefficient de variation se définit comme suit:

$$C.O.V. = S/\bar{x}$$

où: $\bar{x}$ = moyenne arithmétique d'un échantillon de n essais
S = déviation standard p/r à la moyenne.

La déviation standard se calcule, dépendant de la taille de l'échantillon, comme suit:

$$S = R/d_2 \qquad n < 10$$

$$S = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{1}^{n} (x_i - \bar{x})^2\right]^{\frac{1}{2}} \qquad n \geq 10$$

où R = différence entre la plus grande et la plus petite valeur de l'échantillon.
d_2= facteur de déviation

4.1.1 Conditions expérimentales

Les essais furent effectués sur six matériaux de compositions chimiques et de dureté différentes (tableau 3). Pour fins de comparaison, les paramè-

tres expérimentaux choisis étaient sensiblement les mêmes que ceux de tests similaires [13]. Ces paramètres sont résumés au tableau 4. Trois échantillons de chaque matériau furent testés pour prendre en compte la variabilité de l'échantillon et pour éliminer l'influence du fini de surface. Un total de 9 essais furent effectués par matériau ($n = 9$, $d_2 = 2.980$) sauf pour le matériau D ($n = 7$, $d_2 = 2.704$).

4.1.2 Résultats et observations

Le tableau 5 compile les pertes en poids des échantillons regroupés selon la courroie utilisée (i.e. par groupe de trois) et donne le coefficient de variation pour chaque matériau. On remarquera que seul les matériaux A, B et C rencontrent le critère de reproductibilité, i.e. $COV \leq 7\%$. On note également que la dispersion des résultats semble principalement associée au changement de courroie puisque pour une courroie donnée, on obtient une relativement bonne reproductibilité des résultats, peu importe le matériau testé. Les matériaux D, E et F seraient donc plus sensibles à un changement de courroie, ce qui expliquerait leur COV plus élevé.

4.2 Influence de la courroie

On a effectué des essais préliminaires afin d'établir l'influence de la courroie abrasive sur la dispersion des résultats observée lors des tests de reproductibilité. Étant donné que les courroies sont fournies en boîtes de dix unités, on a donc vérifié l'uniformité des courroies à l'intérieur d'une même boîte et entre deux boîtes quelconques.

Les conditions expérimentales restèrent inchangées par rapport aux essais de reproductibilité. Pour des raisons de disponiblité et de sensibilité à l'effet étudiée, seul les matériaux C, D et E furent utilisés.

Les résultats du tableau 6 confirment l'influence du changement de courroie sur la dispersion des résultats et ce même pour des courroies provenant de la même boîte. Ceci suggère qu'à l'intérieur d'une boîte donnée, il est fort peu probable que toutes les courroies aient une abrasivité constante. Par contre, deux courroies prises au hasard dans la boîte peuvent

posséder les mêmes caractéristiques d'abrasion tel que le montrent les résultats pour le matériau D.

Afin de résoudre le problème d'inhomogénéité des courroies, il faudra obtenir du fabricant des lots de courroies (≈100), chacun fabriqué à partir d'un même rouleau brut. Si la dispersion persiste, il ne restera malheureusement qu'à en tenir compte lors de l'analyse des résultats, puisqu'il s'avère impraticable de contrôler l'uniformité des composants des courroies (i.e. tapis, abrasif et liant).

4.3 Influence de la longueur du trajet d'abrasion

Pour ces essais, les conditions expérimentales étaient identiques à celles énumérées au tableau 4. Les longueurs du trajet d'abrasion choisies étaient de 5 m, 7 m et 9 m. La perte en poids pour 5 m fut choisie comme base de comparaison. Conséquemment, chaque essai à 7 m et à 9 m fut comparé à un essai à 5 m, effectué sur la même courroie, ceci dans le but d'éliminer l'influence de l'inhomogénéité des courroies.

Le tableau 7 compile les résultats qui sont portés en graphique à la fig. 6. La proportionnalité entre la perte en usure et la distance d'abrasion ayant déjà été vérifiée [14, 15], les résultats de la figure, en confirmant ce fait, démontrent la validité de la machine d'usure/impact, du moins en mode abrasion.

4.4 Essais d'impact

Une série d'essais a été effectuée afin d'évaluer le fonctionnement du système d'application de la charge d'impact. Comme équipement complémentaire au montage, on a utilisé un oscilloscope à mémoire GOULD 4035 branché sur la sortie de l'amplificateur de la cellule de charge d'impact ainsi qu'une table traçante HP 7080A.

Pour tous les essais, le facteur d'amplification du signal d'impact fut réglé à 4.2 ÷ 1V = 4450N, la vitesse de balayage de l'oscilloscope à 2 ms/div, la vitesse de transmission à la trace de l'oscilloscope au traceur à 1 s/div,

la hauteur de chute à 10 cm, et la charge d'impact à 6.4 kg. Les enregistrements des essais sont regroupés à l'annexe 2.

L'essai #1 consistait à enregistrer trois impacts au même endroit sur la courroie. On peut observer la diminution de l'effet d'amortissement de la courroie, la force d'impact passant de 1086 N (courbe 1) à 1544 N (courbe 3). Ce résultat rappelle l'importance de frapper à chaque choc à un endroit vierge sur la courroie de façon à maintenir la consistance des essais. Le deuxième pic observé après l'impact principal demeure, encore à ce jour, un point d'interrogation. L'intervalle de temps (≈3.4 ms) entre les deux pics est définitivement trop long pour que le second soit causé par une mauvaise réponse du système électronique. En revanche, l'intervalle est trop court pour que le second pic représente le rebond de la charge d'impact sur le tapis. De plus, ce rebond est considérablement amorti par les ressorts (8) et ne peut donc correspondre à la charge observée. Une étude approfondie de l'élasticité du montage et de l'arrangement du train d'impact apporterait peut-être une solution à cette énigme.

Pour l'essai #2, on observe la saturation de l'effet d'amortissement après plusieurs impacts au même endroit sur la courroie.

L'essai #3 montre la variation de la force d'impact en fonction de la vitesse de remontée de la charge. On constate qu'une augmentation de la vitesse de montée (10 cm/s → 16 cm/s) produit une force d'impact plus élevée. Ceci résulte évidemment d'une augmentation de la hauteur de chute due à l'énergie cinétique augmentée de la masse.

Finalement, l'essai #4 représente un essai complet impact/abrasion. On note immédiatement la variation importante de la force d'impact, les paramètres de l'essai demeurant constants. Deux explications se présentent. Premièrement, la surface d'impact de l'échatillon ne frappe pas à plat sur la courroie abrasive. Dans ce cas, il faut s'assurer que les surfaces latérales de l'échantillon sont effectivement parallèles et que l'échantillon est maintenu dans son support perpendiculairement à la surface de la courroie. Deuxièmement, la force de friction entre le porte-échantillon et son guide (15) varie en fonction de la position augulaire, i.e. avec la rotation de

l'échantillon. Ici, une révision (majeure) du système d'entraînement s'impose.

5. DÉVELOPPEMENTS FUTURS

Les essais préliminaires effectués jusqu'à présent ont fait apparaître, comme souhaité, les faiblesses de la machine d'usure/impact. Par conséquent, certaines améliorations devront être apportées au montage à plus ou moins long terme afin qu'il produise des résultats de précision et de fiabilité accrues.

Deux améliorations qu'on pourrait qualifier de majeures doivent tout de suite être mentionnées. En premier lieu, il faudra modifier le porte-échantillon puisqu'il est apparu au cours des essais d'impact que l'échantillon avait tendance à rester coincé à l'intérieur. À cet effet, il est déjà prévu d'installer une bague de serrage conique tel qu'illustré à la fig. 7. Cette bague assurera également la perpendicularité de l'échantillon par rapport à la courroie abrasive en plus d'allouer des tolérances plus lâches sur le diamètre de l'échantillon. L'autre modification importante concerne le mécanisme d'entraînement de l'arbre porte-échantillon qui devra être revisé afin de réduire au maximum la friction entre l'arbre et le cylindre-guide, ou du moins la rendre indépendante de la position angulaire. Ce problème de friction affecte sensiblement la précision des charges statique et d'impact à appliquer, tel qu'observé durant les tests préliminaires.

D'autres améliorations de moindre importance devront également être envisagées. Parmi elles, mentionnons l'installation d'une gaine protectrice type "acordéon" sur la vis sans fin (21) pour empêcher les filets de s'encrasser et la vis de bloquer, l'installation d'un guide pour la tige sur laquelle coulisse le tube-guide (6) afin d'empêcher la vibration de la cellule de charge statique lors d'un impact, et éventuellement le couplage d'un système d'acquisition de données pour regrouper les paramètres d'essai sur un même enregistrement.

Une fois les modifications apportées à la machine d'usure, il faudra au

besoin réévaluer sa reproductibilité avant d'entreprendre des études de nature un peu plus scientifique. Ainsi, et ce en accord avec les objectifs du programme en usure entrepris à l'IGM, on pourra étudier:

- L'influence de l'abrasif (grosseur et nature) sur la résistance à l'usure.

- La résistance à l'usure abrasive combinée à une charge d'impact répétée des différents matériaux utilisés dans le secteur minier, en visant une meilleur classification ("ranking") de ces derniers.

- Les mécanismes d'enlèvement de matériaux au cours du processus d'abrasion/impact;

et bien d'autres sujets qui germent encore dans la tête fertile des chercheurs en usure.

6. CONCLUSION

Le montage expérimental réalisé à l'IGM principalement en vue d'une étude sur l'effet combiné de l'usure abrasive et d'un chargement d'impact est maintenant opérationnel. Toutefois, les essais préliminaires ont fait apparaître certaines faiblesses qui devront être corrigées afin de maximiser les performances du montage.

Les informations contenues dans ce document devraient aider le futur utilisateur à opérer efficacement la machine. L'auteur lui souhaite bonne chance en lui rappelant que le concepteur doit répondre à certaines exigences techniques qui lui font parfois oublier l'utilisateur.

REMERCIEMENTS

L'auteur tient tout d'abord à remercier François Savard pour sa participation au design de la machine. Sa gratitude s'adresse également à l'équipe de l'atelier d'usinage de l'IGM, et en particulier à Antoine Pelletier, pour la construction du montage. Finalement, des remerciements sont adressés à Danielle Lajeunesse, du groupe Instrumentation, pour un excellent travail lors de la réalisation du module de contrôle.

RÉFÉRENCES

1. Craig, G., Molgaard, J. and Young, P., "Report on the Reduction of Losses Due to Wear, in the Canadian Minerals Industry", IGM Project 8351-049, Oct. 1981.

2. D'Silva, N., Attia, H., Dale, P. and Chan, A., "A Survey of Losses in Energy and Materials in the Canadian Economy, Due to Friction and Wear, and a Research and Development Strategy for Triboloby", Ontario Hydro Project 24-709, 1984.

3. Bayer, R.G., Engel, P.A. and Sirico, J.L., "Impact Wear Testing Machine", Wear, 19 (1972), 343-354.

4. Rice, S.L., "Reciprocating Impact Wear Testing Apparatus", Wear, 45 (1977), 85-95.

5. White, F.C., "A Multi-purpose Wear Testing Apparatus", M.S. Rep., Mech. Eng. Dept., Texas A & M University, 1983.

6. Blickensderfer, R. and Forkner, B.L., "A Ball-on-Block Impact-Spalling Wear Test and Results on Several Iron Alloys", U.S. Dept. of the Interior, Bureau of Mines, Report of Investigations 8754, 1983.

7. Sorokin, G.M. and Polyanskaya, T.A., "Machine for the Investigation into the Impact Fatigue Wear", Zavod Lab., 36 (1970), 611-612.

8. Vinogradov, V.N., Sorokin, G.M. and Shreiber, G.K., "Method of Wear Testing with Impact against an Abrasive Surface", Industrial Laboratory, Vol. 32, No. 11, pp. 1723-1725.

9. Fed'kov, G.A. et al., "Laboratory Unit for Accelerated Impact Abrasion", Industrial Laboratory, 39 (2), pp. 310-311.

10. Savard, F., "Design d'une machine d'essais d'usure/impact", Rapport IGM 84-240-159, août 1984.

11. Thériault, Y., Cahier de laboratoire 182 et documents personnels.

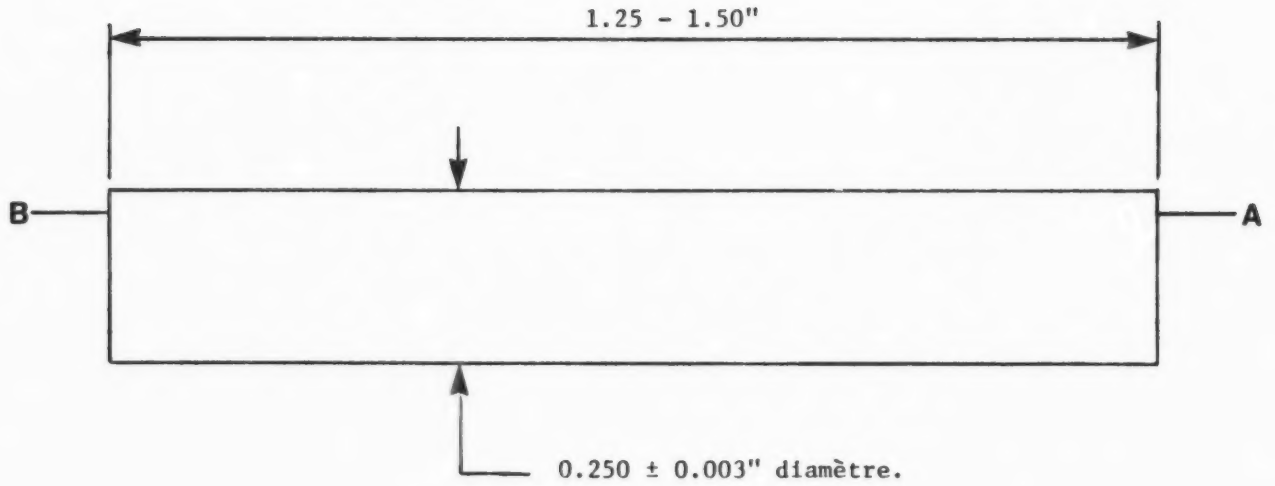
12. Lajeunesse, D., "Système Usure Échantillon (Armoire de contrôle)", Rapport IGM 8355-0204, mars 1986.

13. Muscara, S. and Sinnott, M.J., "Construction and Evaluation of a Versatile Abrasive Wear Testing Apparatus", Metals Eng. Qtrly, May 1972.

14. Gunblack, R.B. and Parks, J.L., "Influence of Abrasive Hardness on the Wear Resistance of High Chromium Irons", Wear, 41 (1978), 97-108.

15. Parks, J.L., "Characteristics of As-cast and Subcritically Heat-Treated High-Chromium Molybdenum White Irons for Thick-Section Castings", AFS Transactions Vol. 97 (1978), pp. 93-102.

16. Avery, H.S., "Classification and Precision of Abrasion Tests" Source Book on Wear Control Technology, ASM 1978.



Note: Les surfaces A et B doivent être parallèles au 0.001" près.

Fig. 1 Dimensions de l'échantillon d'usure

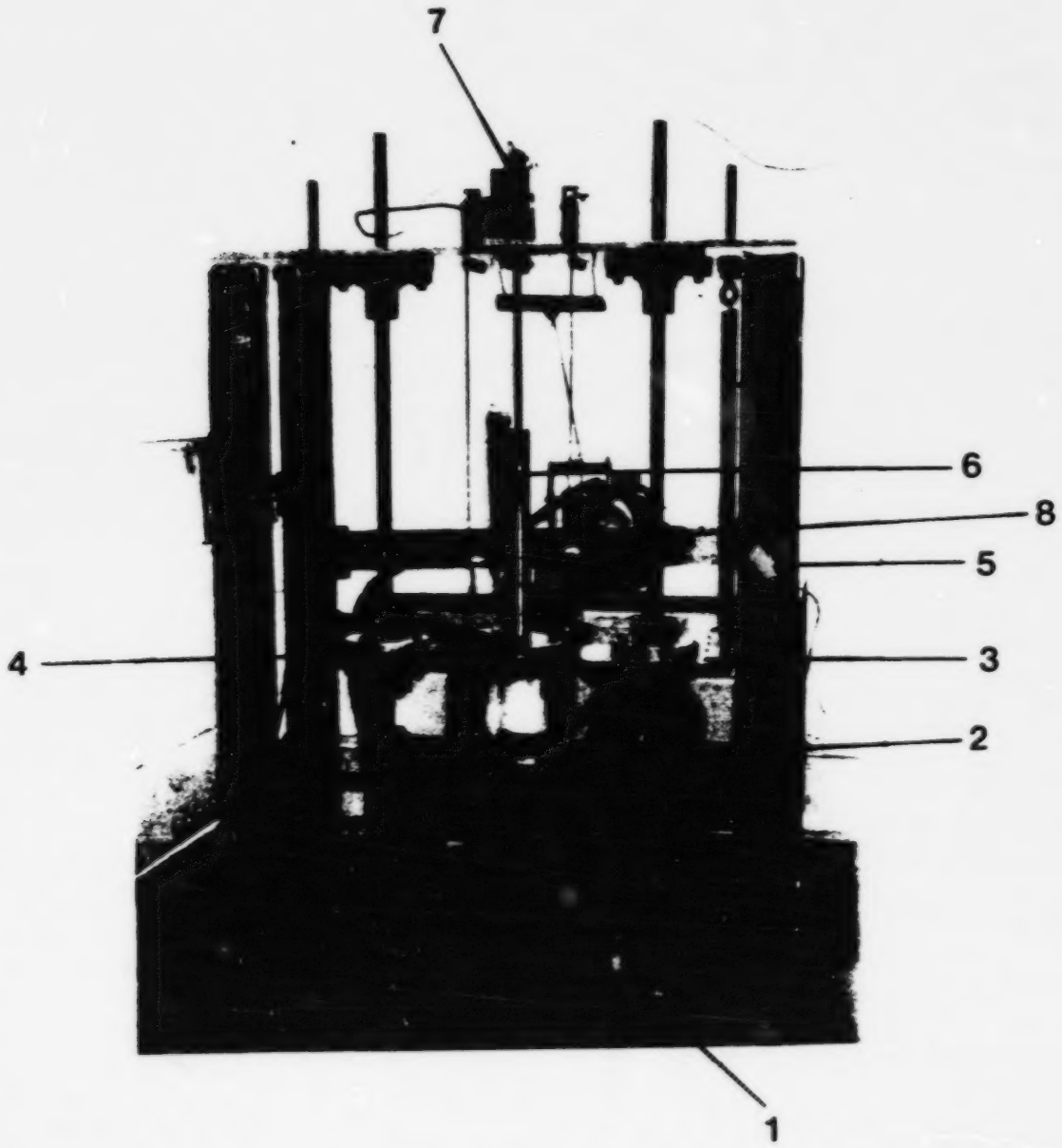


Fig. 2a) Machine d'usure/impact- Module A.

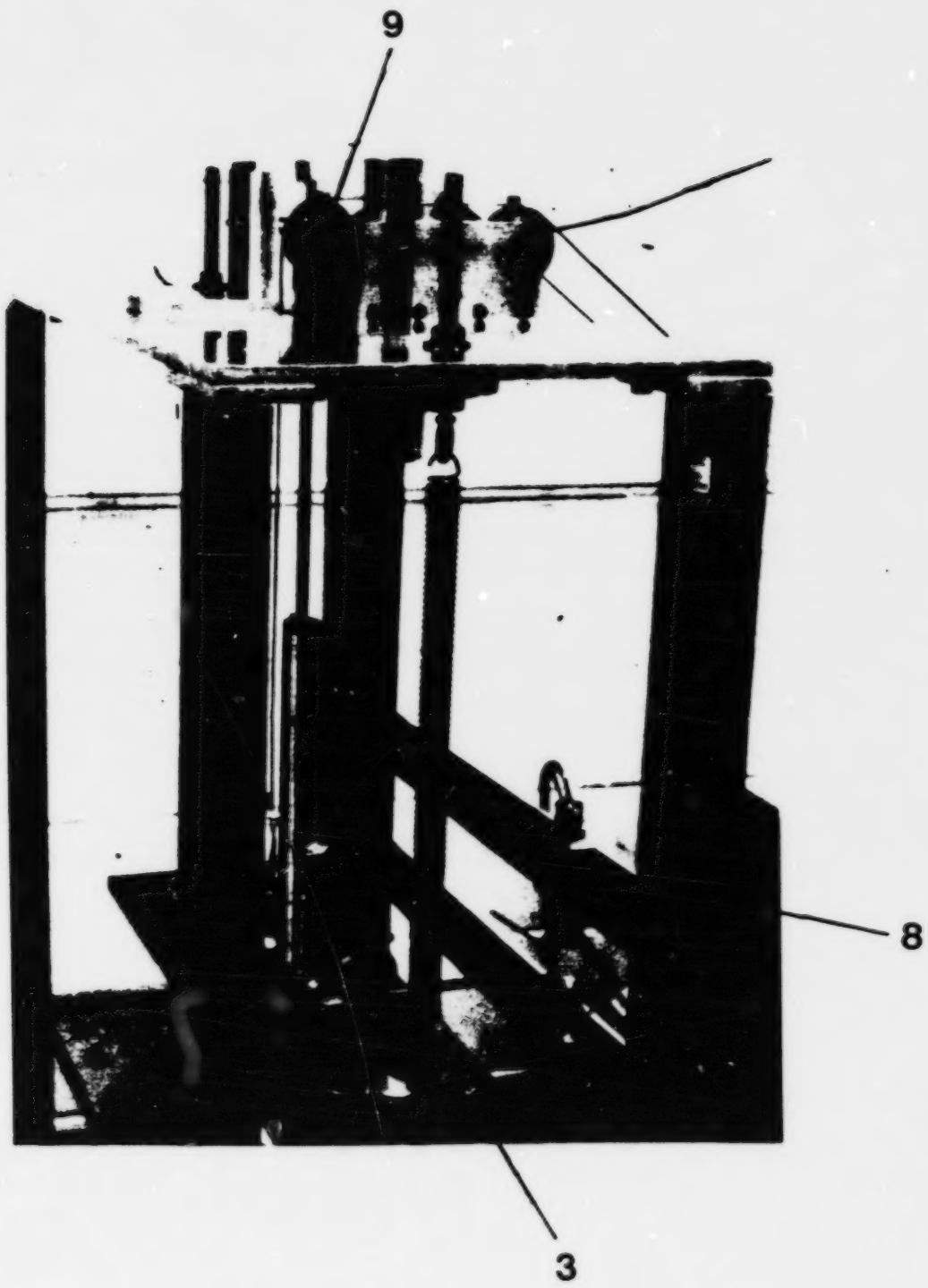


Fig. 2b) Machine d'usure/impact- Module A

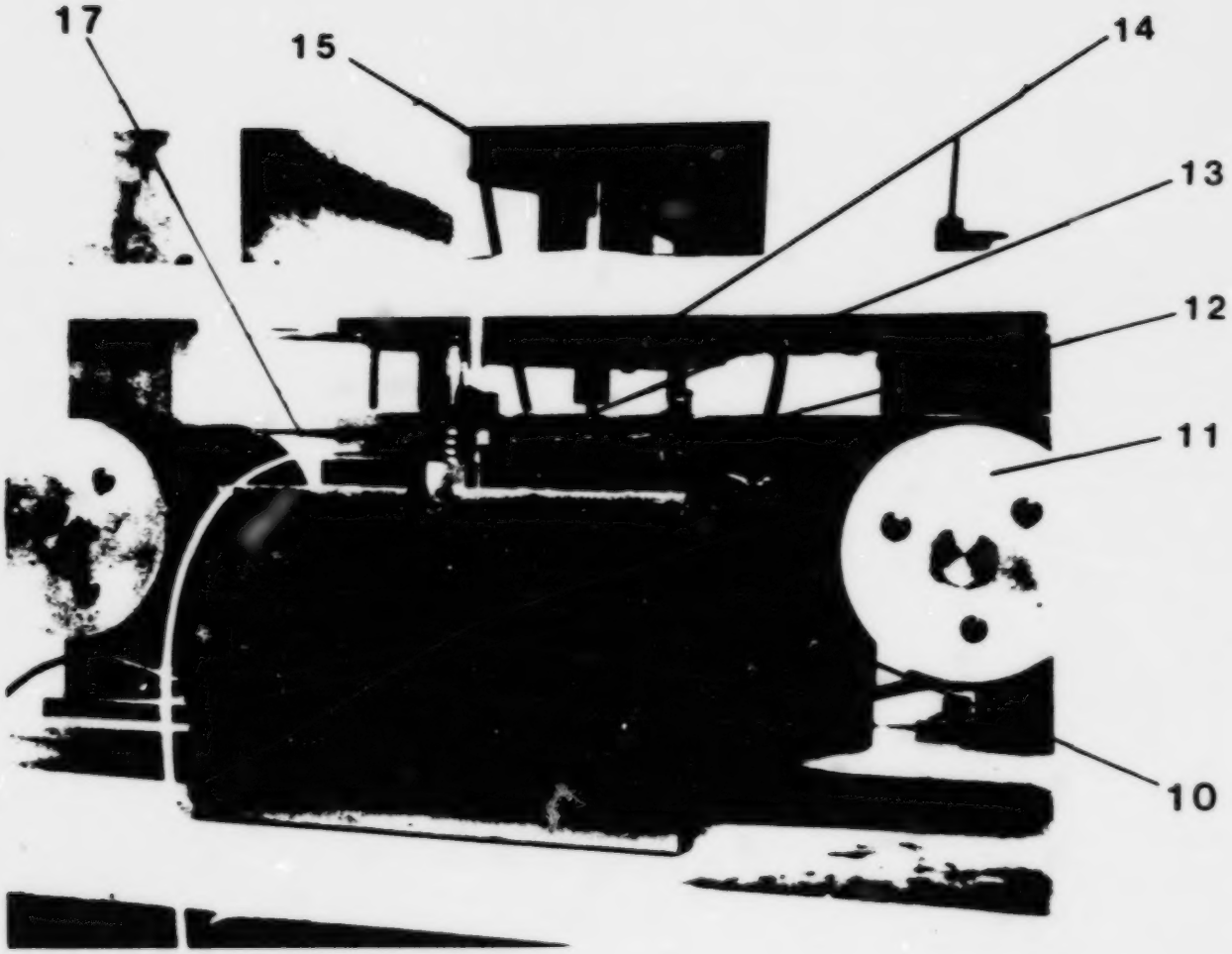


Fig. 3a) Machine d'usure/impact- Détails de la région d'impact.

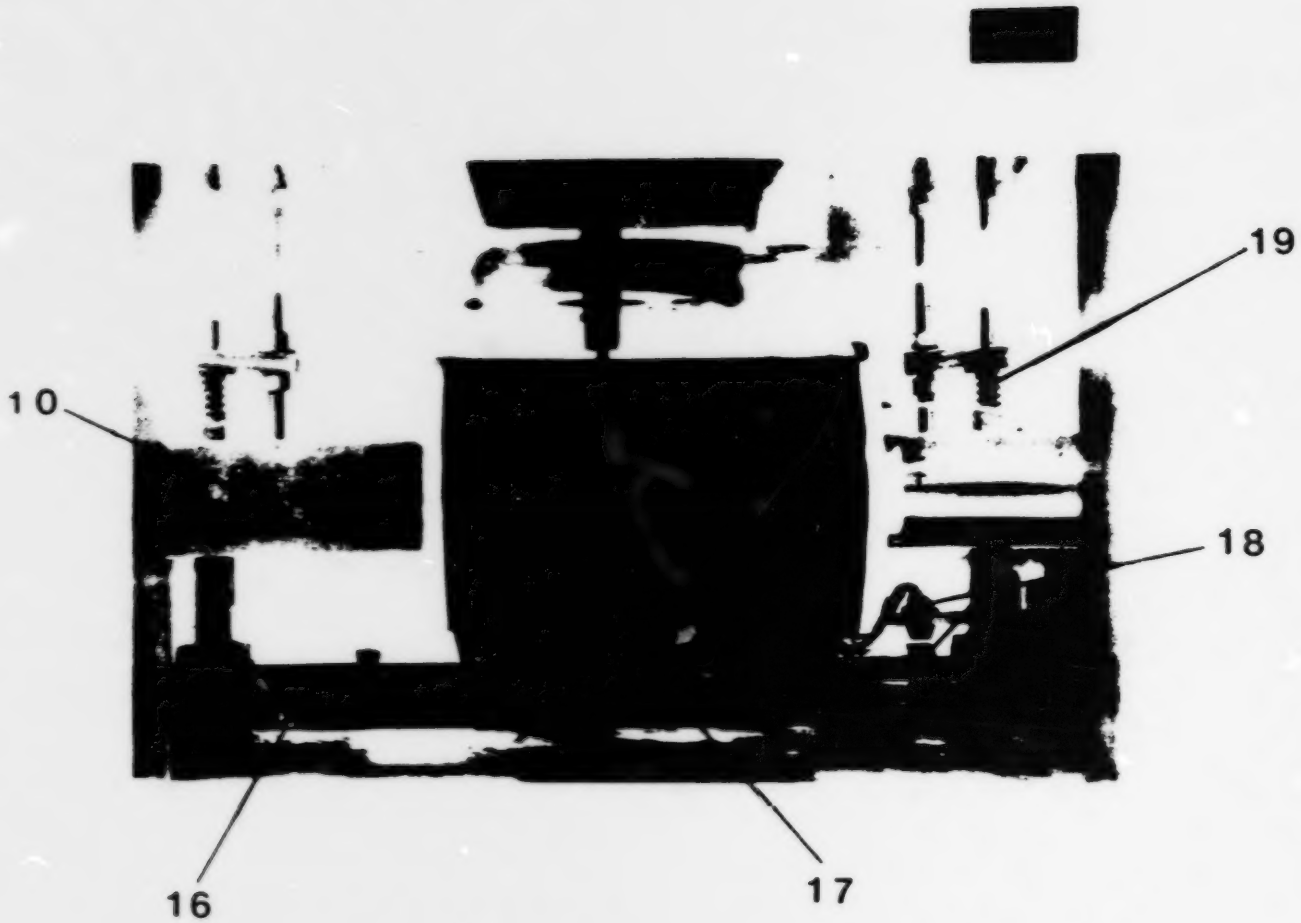


Fig. 3b) Machine d'usure/impact- Dispositif de mesure de la distance parcourue.

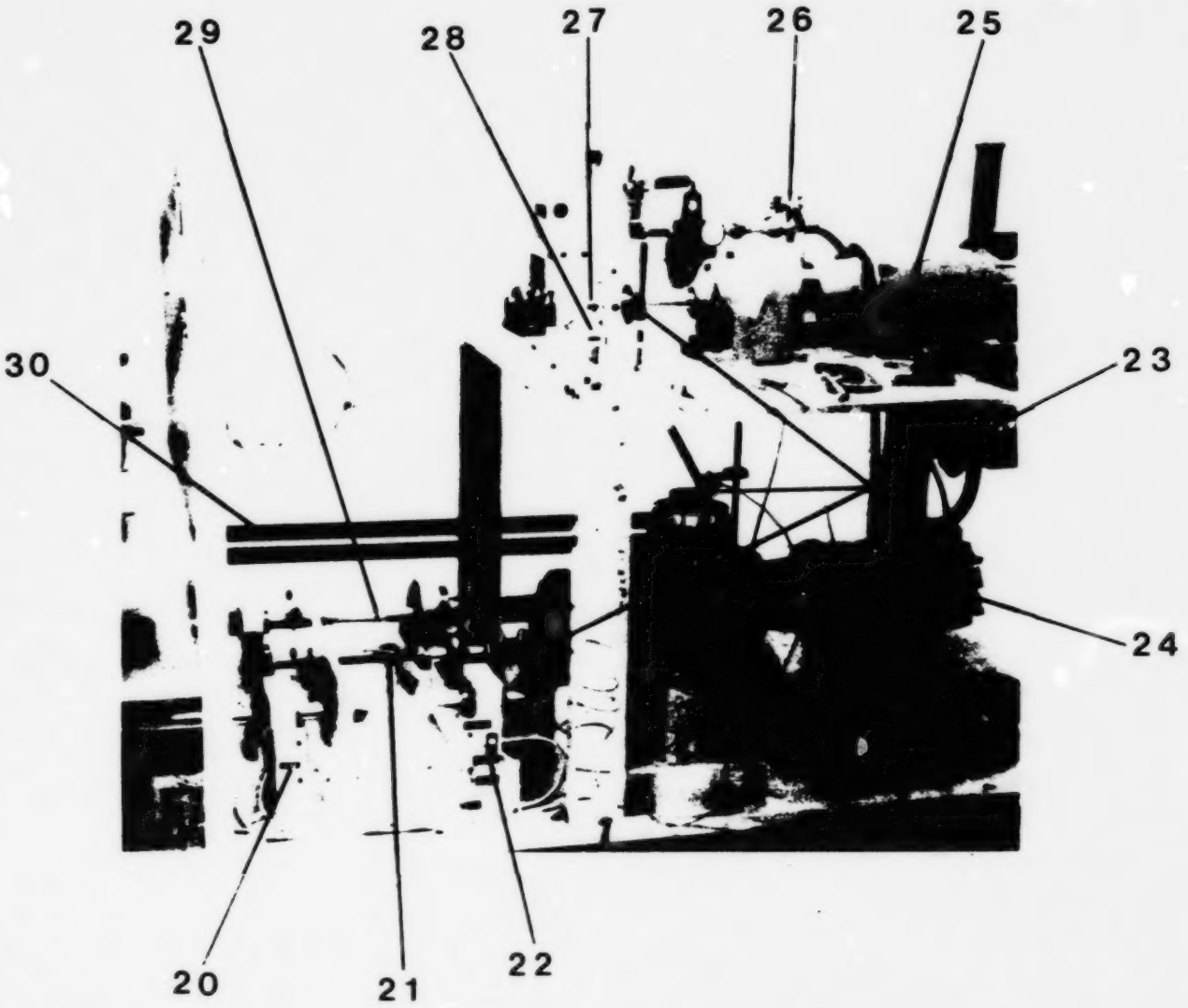


Fig. 4a) Machine d'usure/impact- Modules B et C.

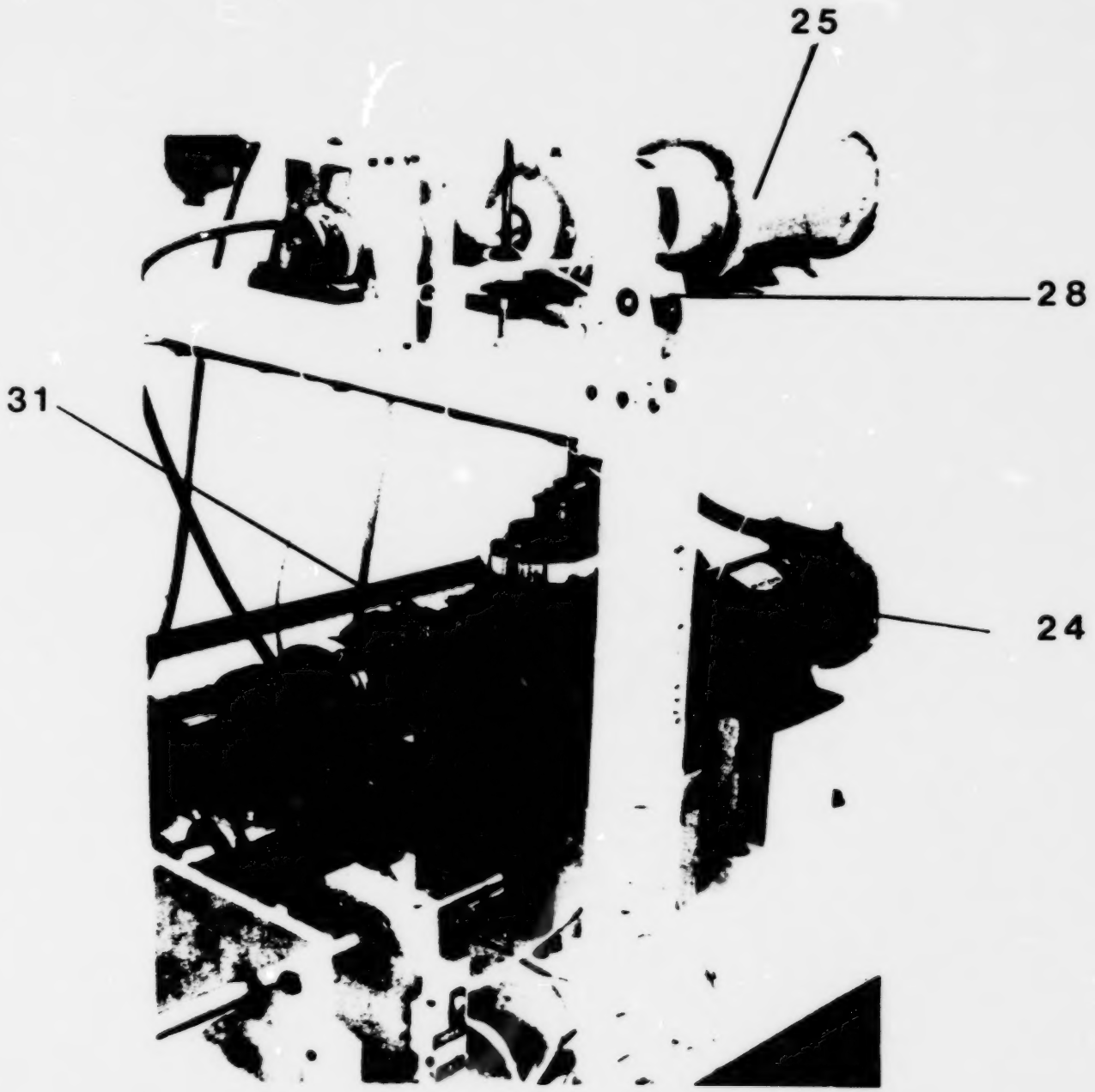


Fig. 4b) Machine d'usure/impact- Moteurs d'entrainement.

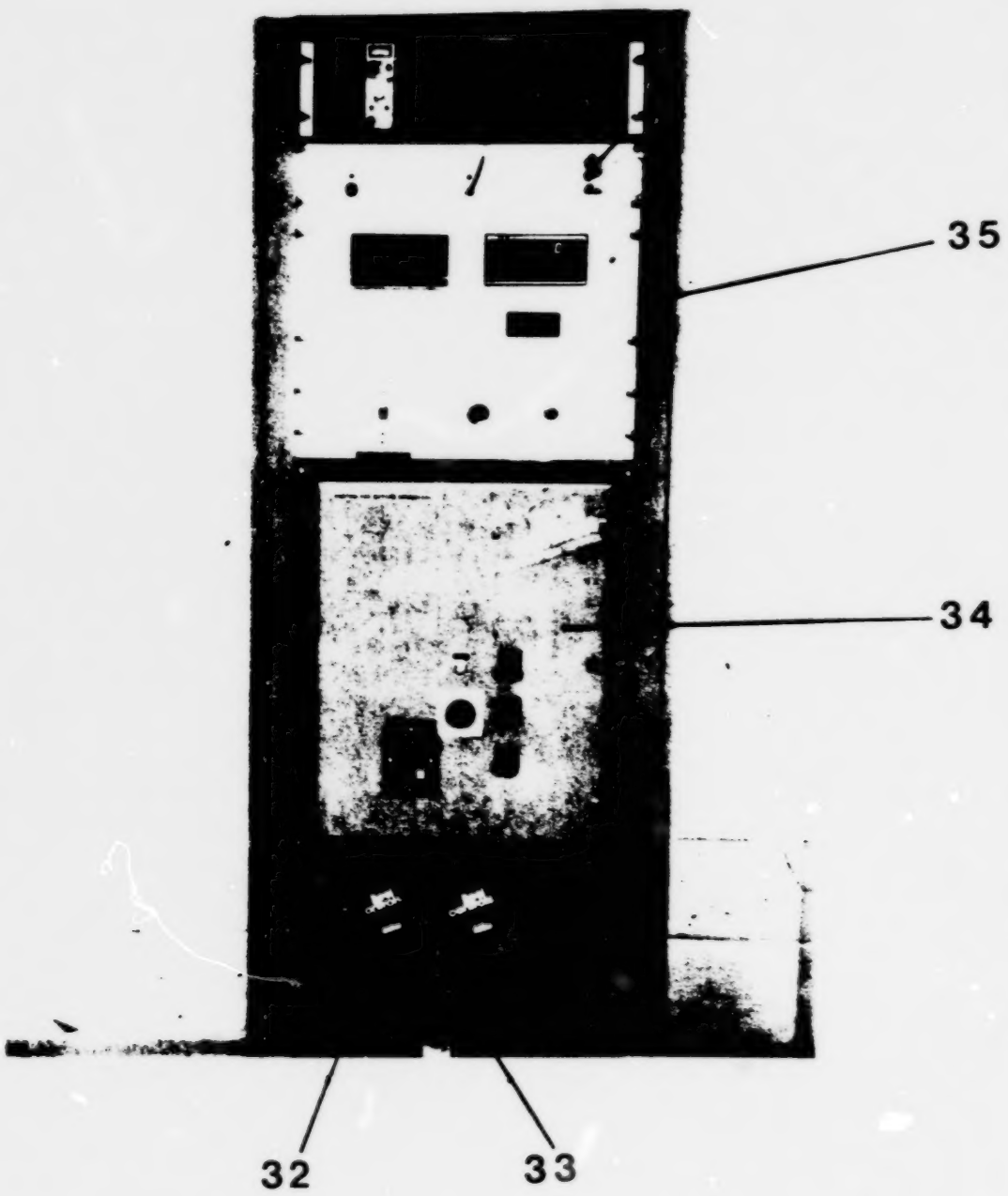


Fig. 5a) Machine d'usure/impact- Module de contrôle.

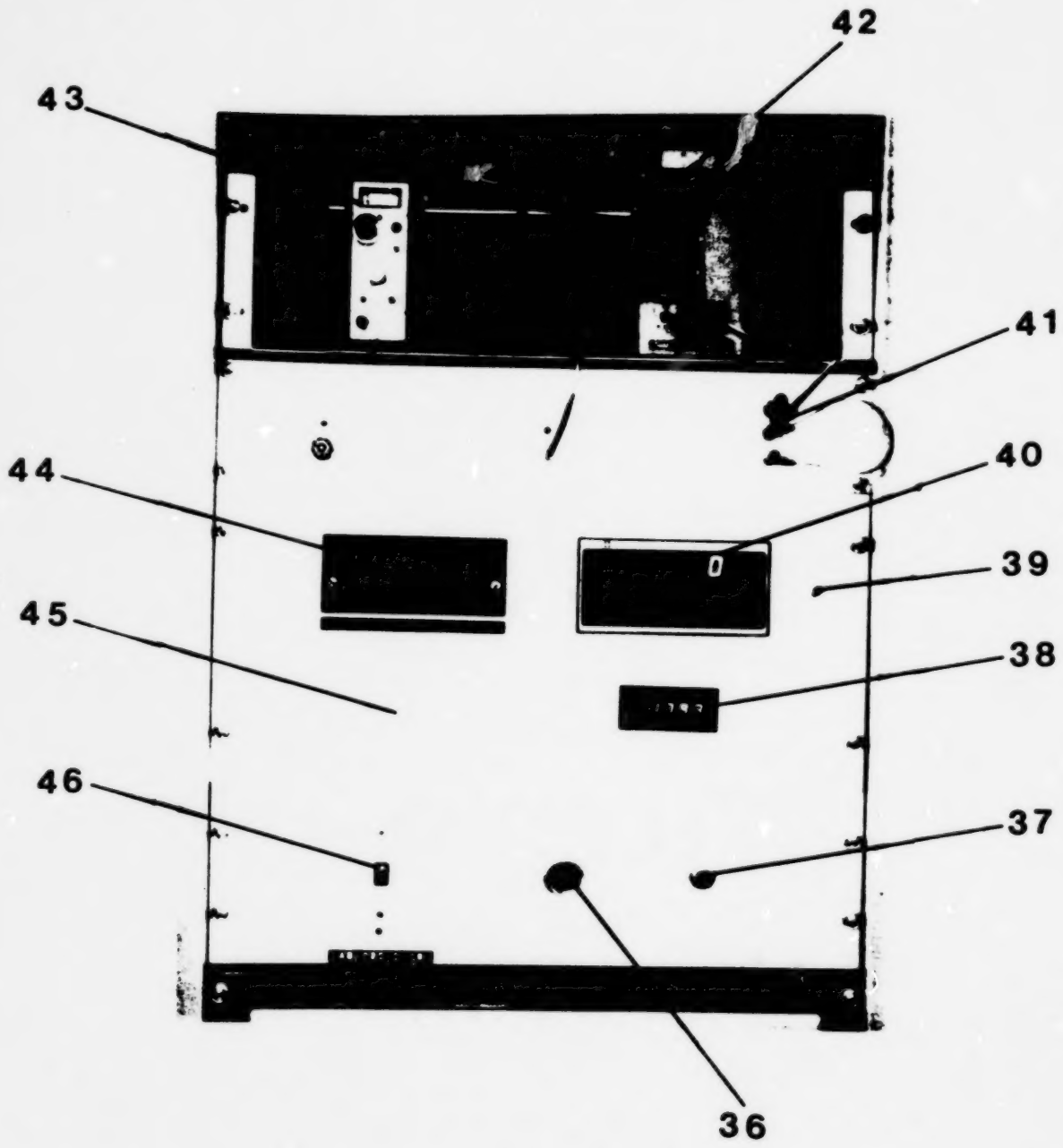


Fig. 5b) Machine d'usure/impact- Détails du module de contrôle.

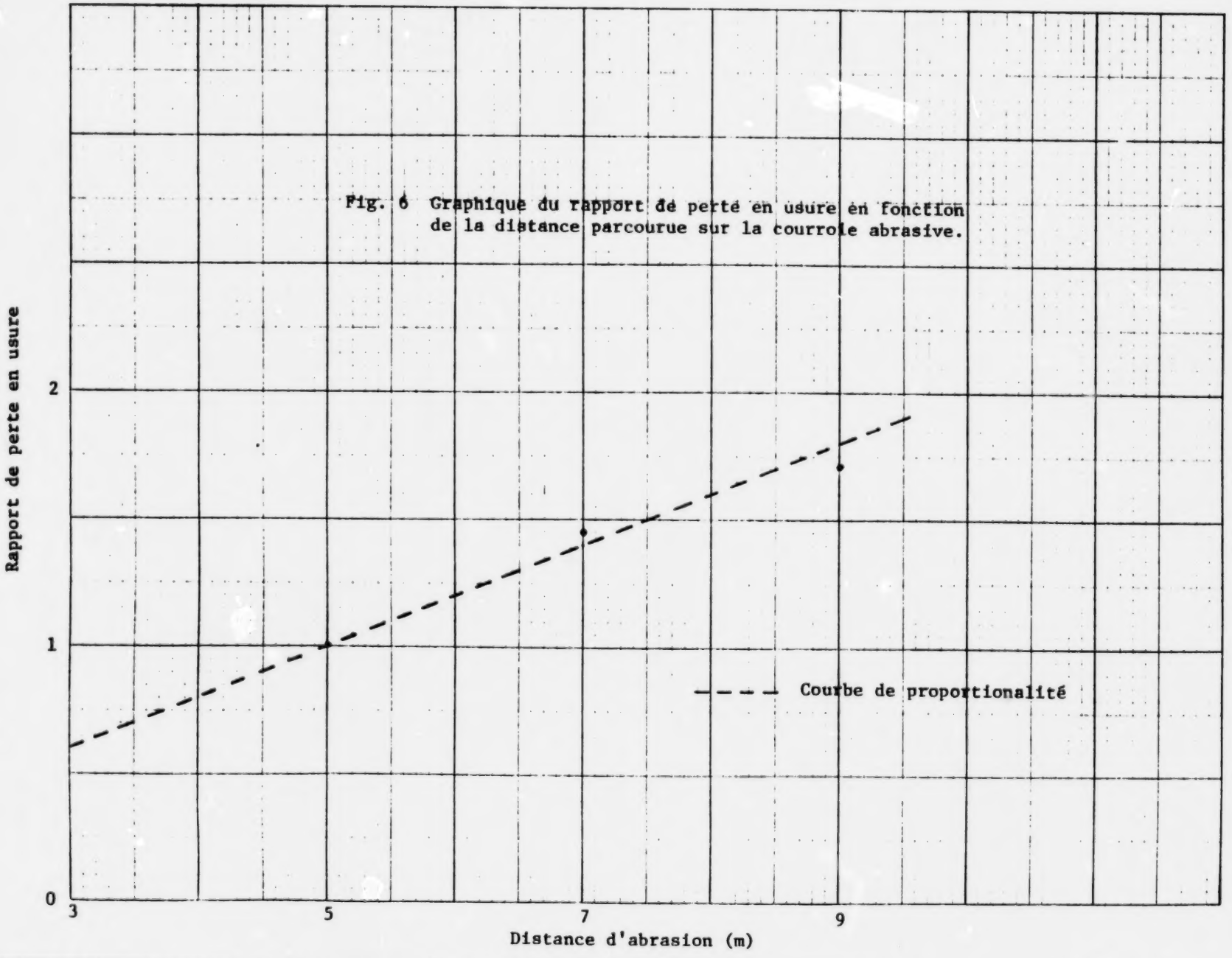


Fig. 6 Graphique du rapport de perte en usure en fonction de la distance parcourue sur la courroie abrasive.

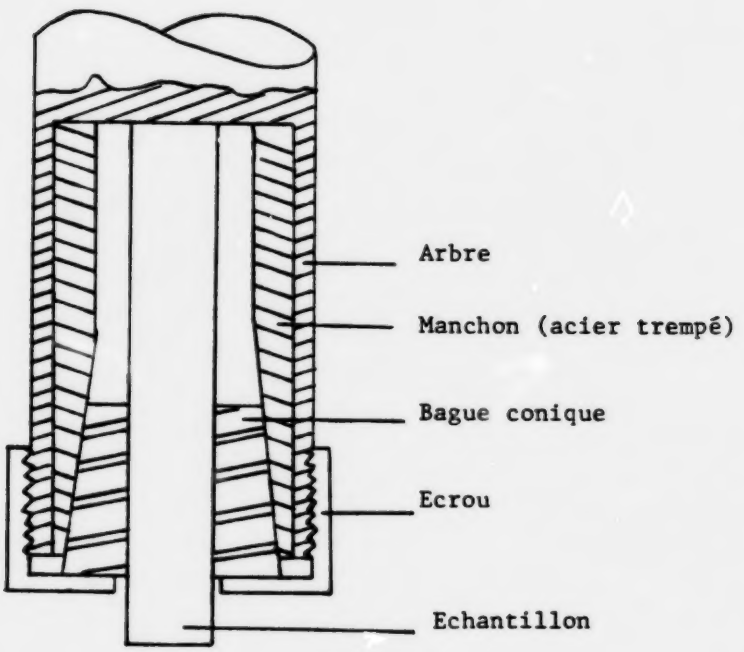


Fig. 7 Modification du porte-échantillon

Tableau 1 Caractéristiques principales de la machine d'usure/impact

Type	:	abrasion 2 corps (sèche)/impact
Dimensions hors-tout	:	81 cm x 183 cm x 147 cm
Masse approximative	:	330 kg
Échantillon	:	cylindrique - 6.35 mm x 38.1 mm
Courroie abrasive	:	15.2 cm x 121.9 cm
Largeur d'abrasion max.	:	19.5 m
Vitesse	:	8.13 m/min
Vitesse de rotation max.	:	87 RPM
Charge statique	:	4.45 N - 445 N
Charge d'impact max.	:	89 KN
Fréquence d'impact max.	:	1 Hz
"Dwell time"	:	1.8 s - 180 s.

Tableau 2 Liste des principales composantes de la machine d'usure/impact (fig. 2 à 5).

Composantes #	Description
1	plaque de base
2	poutre de soutien
3	plaque d'impact
4	disque d'impact
5	ressort
6	tube-guide
7	support de la cellule de charge
8	interrupteurs de limite de course-charge d'impact
9	cellule de charge statique
10	table d'impact
11	disque-guide
12	cellule de charge d'impact
13	échantillon
14	arbre porte-échantillon
15	cylindre-guide
16	rouleau-tendeur
17	courroie abrasive
18	compte-tours - distance d'abrasion
19	ressort
20	interrupteur de limite de course des rouleaux
21	vis sans fin
22	interrupteur du courant de limite de course
23	moteur d'entraînement de l'échantillon

Tableau 2 (suite)

Composantes #	Description
24	compte-tours - vitesse de rotation
25	moteur d'entraînement de la charge d'impact
26	valve solénoïde
27	embrayage pneumatique
28	ressort de rappel
29	arbre d'entraînement
30	courroie d'entraînement de l'échantillon
31	moteur d'entraînement des rouleaux
32	contrôleur du moteur (31)
33	contrôleur du moteur (24)
34	contrôleur du moteur (25)
35	module de contrôle
36	bouton de redémarrage
37	lumière-témoin de l'ouverture du circuit d'alimentation aux moteurs
38	indicateur de la charge statique
39	bouton de remise à zéro de l'indicateur (40)
40	indicateur/pré-sélecteur de la distance de crêtes
41	sortie analogique du détecteur de crêtes
42	multimètre digital
43	amplificateur du signal d'impact
44	indicateur de vitesse
45	bouton-sélecteur de la vitesse indiquée par (44)
46	interrupteur de l'alimentation au montage

Tableau 3 Composition chimique et dureté des matériaux utilisés pour les essais préliminaires

Matériau	C	Ni	Cr	Mn	Si	Mo	V	W	Dureté
A - SAE 1020	0.18/0.23	--	--	0.30/0.60	--	--	--	--	
B - Acier 316	0.08	10.0/14.0	16.0/18.0	2.0	1.0	2.0/3.0			93 HRB
C - Acier W1	1.40	--	--	--	--	--	--	--	98 HRB
D - Acier HSLA	0.42	0.1	0.15	0.75	0.22	0.25	--	--	62 HRC
E - Acier outil M_2	0.85/1.0	--	4.0	--	--	5.0	2.0	6.0	59 HRC
F - Fonte blanche au chrome	2.0	--	17	0.5	0.5	--	--	--	35 HRC

Tableau 4 Conditions expérimentales pour les tests de reproductibilité

Abrasif	:	Alumine (150 grit)
Vitesse d'abrasion	:	320 cm /min
Vitesse de rotation de l'échantillon	:	20 RPM (CW)
Longueur d'abrasion	:	6 m
Charge statique	:	67 N

Tableau 5 Résultats des tests de reproductibilité

Matériau	Perte en poids (mg)			$\bar{x}$ (mg)	S (mg)	C.O.V.(%)
	57.1	57.9	56.9			
A	62.4	59.5	55.5	57.6	2.82	4.9
	54.4	58.5	56.1			
	50.1	44.3	49.5			
B	53.3	46.3	53.0	49.3	3.01	6.1
	50.2	44.4	52.6			
	33.8	30.0	28.5			
C	33.3	30.6	28.7	30.8	1.79	5.8
	32.8	29.8	29.4			
	36.0	34.4	32.2			
D	38.0	37.1	32.3	35.3	2.58	7.3
	39.2	37.3	31.5			
	31.8	33.2	28.3			
E	35.7	33.6	29.0	32.3	2.49	7.7
	34.2	34.1	31.1			
	--	34.4	38.9			
F	38.4	36.9	42.4	38.5	3.43	8.9
	42.3	36.2	--			

Tableau 6 Résultats des essais sur l'influence de la courroie abrasive

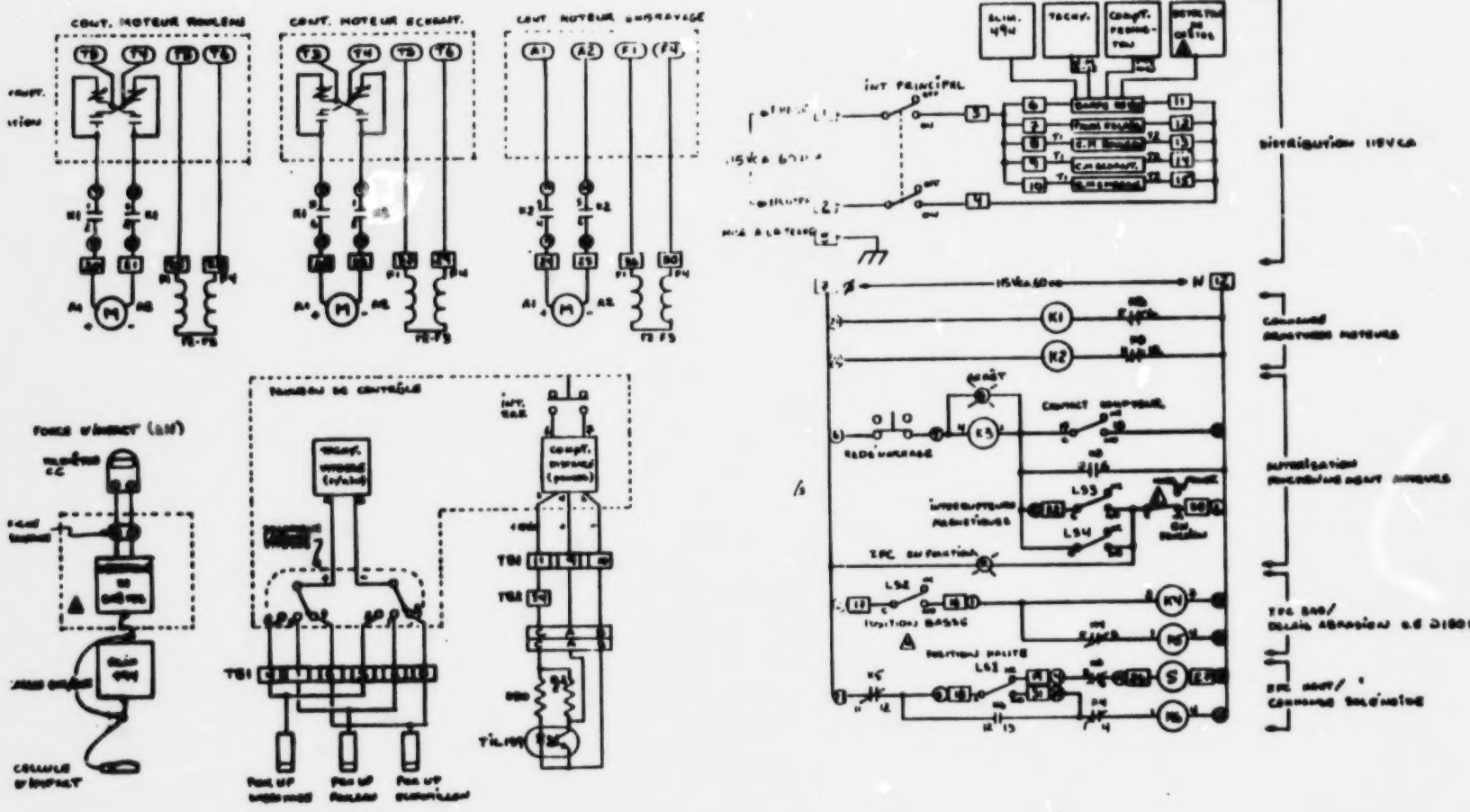
Matériau	Courroie #	Perte en poids(mg)	$\bar{x}$
C	1	38.0 37.5 35.8	37.1
	2	29.7 31.9 31.5	31.0
	2	30.0 30.7 31.5	30.7
D	3	37.3 40.2 41.6	39.7
	4	34.7 34.5 36.6	35.3
	4	36.5 38.6 37.5	37.5
E	5	28.5 31.4 30.9	30.3
	6	28.0 30.8 30.1	29.6
	5	28.5 28.3 29.2	28.7

Tableau 7 Résultats des essais sur l'influence de la longueur d'abrasion

Échantillon	Longueur d'abrasion	Perte en poids (mg)	R	$\overline{R}$
		25.0	1	
D_1	5	27.8	1	1
		31.8	1	
		36.1	1.44	
D_2	7	40.3	1.45	1.46
		47.5	1.49	
		33.8	1	
D_3	5	31.9	1	1
		33.2	1	
		53.6	1.58	
D_4	9	61.2	1.92	1.72
		54.9	1.65	

ANNEXE I

SCHÉMA ÉLECTRIQUE DU MODULE DE CONTRÔLE


1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
REVISIONS
CONT. MOTEUR ROULEAU
CONT. MOTEUR ECHANT.
CONT. MOTEUR ENGRAVAGE
INT PRINCIPAL
DISTRIBUTION 115VCA
COMMANDE MOTEURS MOTEURS
TEMOIN DE CONTRÔLE
FORCE D'IMPACT (kN)
CELLULE D'IMPACT
TB1
TB2
TB3
TB4
TB5
TB6
TB7
TB8
TB9
TB10
TB11
TB12
TB13
TB14
TB15
TB16
TB17
TB18
TB19
TB20
TB21
TB22
TB23
TB24
TB25
TB26
TB27
TB28
TB29
TB30
TB31
TB32
TB33
TB34
TB35
TB36
TB37
TB38
TB39
TB40

ANNEXE II

ESSAIS D'IMPACT PRÉLIMINAIRES

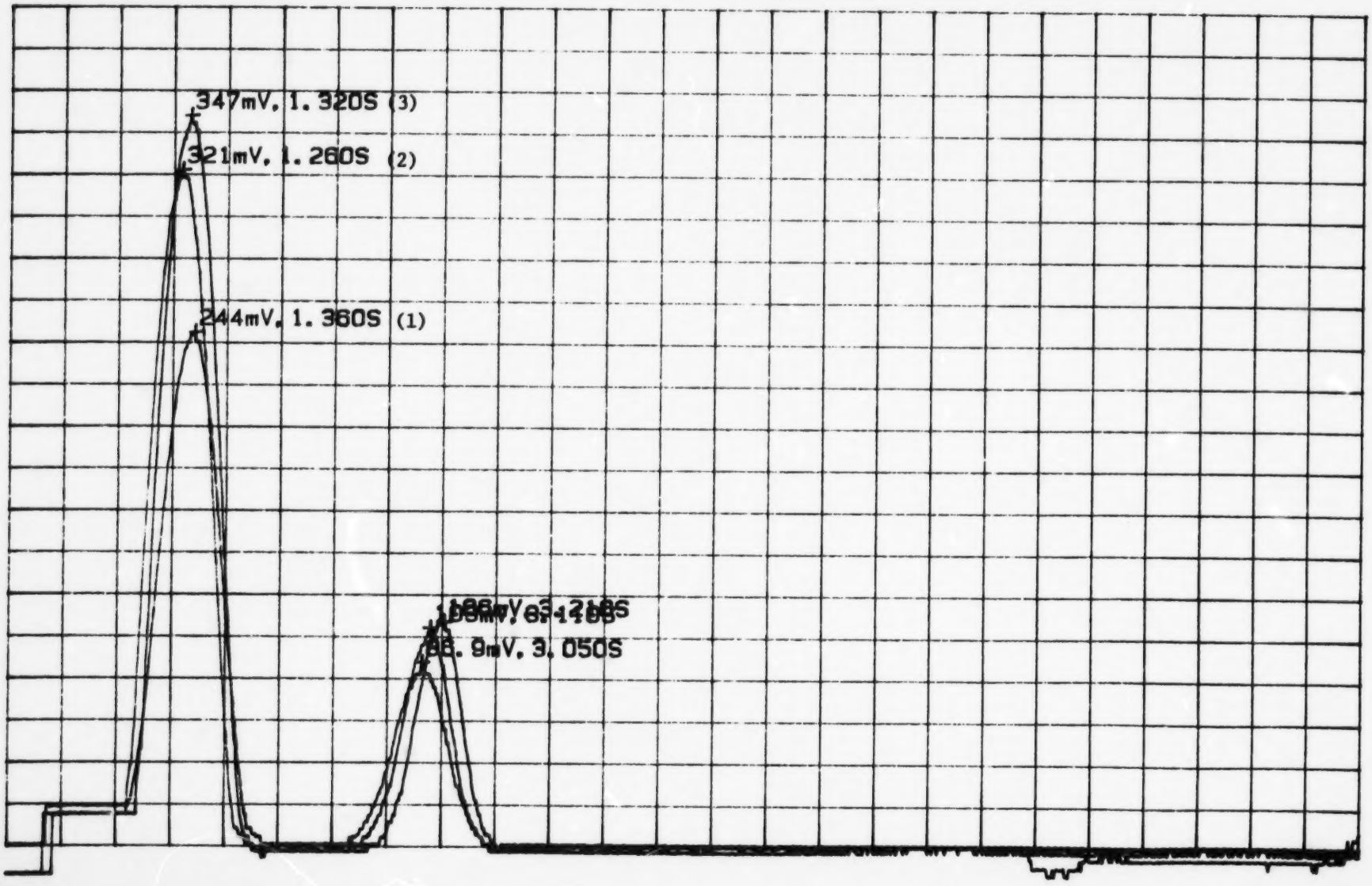
10:02:10 18 SEP 86

Essai #1

x: 1 s = 2 ms

y: 1 mV = 4.45 N

RANGES: 400.0mV 10.00V 10.00V
OFFSETS: 0.0V 0.0V 0.0V
TOTAL TIME: 10.00S
POST-TRIG: 0.0S
TRIGGER: MAN



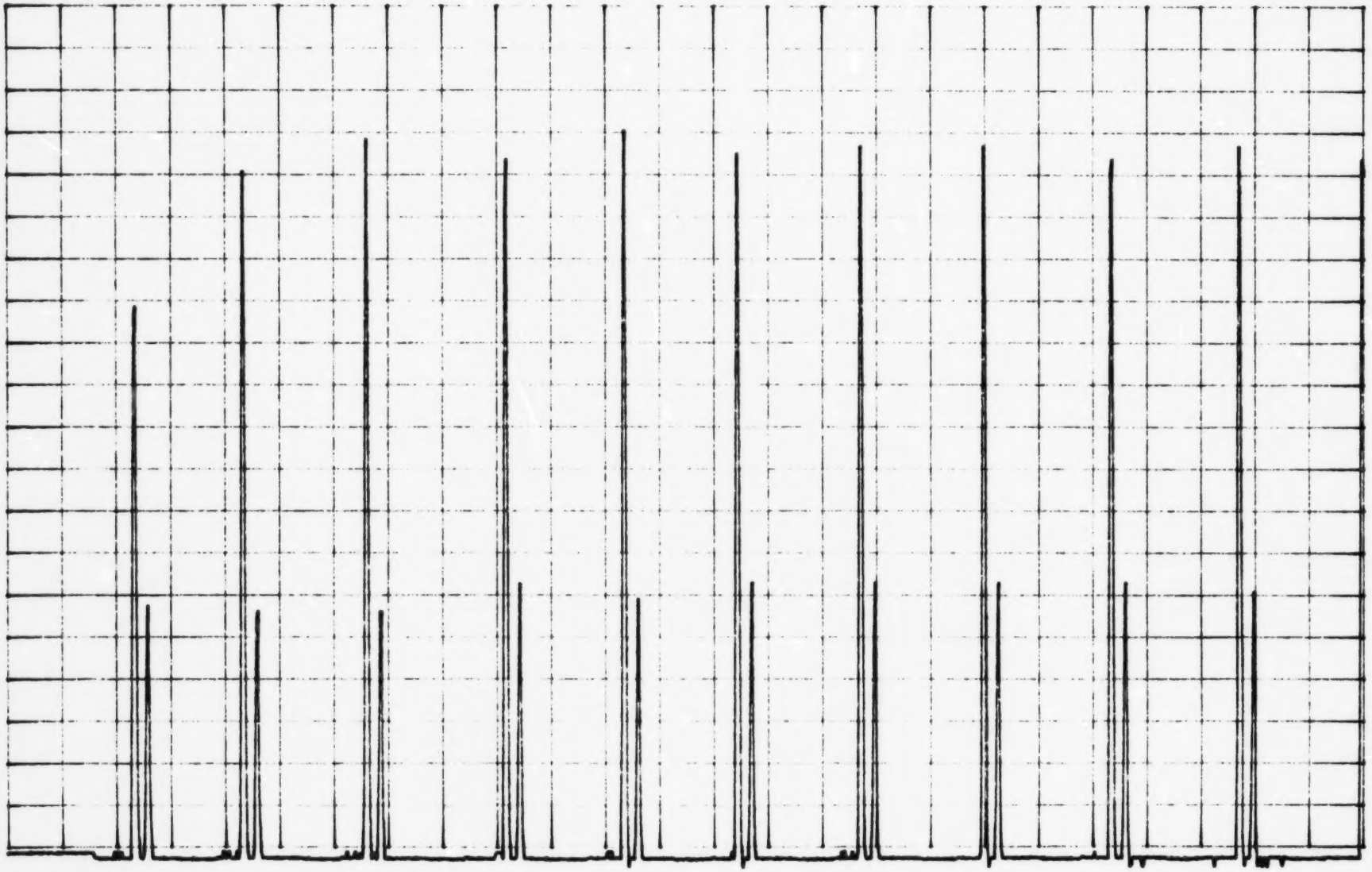
15:51:55 19 SEP 88

Essai #2

x: 1 s = 2 ms

y: 1 mV = 4.45 N

RANGES: 400.0mV 10.00V 10.00V
OFFSETS: 0.0V 0.0V 0.0V
TOTAL TIME: 3.00M
POST-TRIG: 0.0S
TRIGGER: MAN



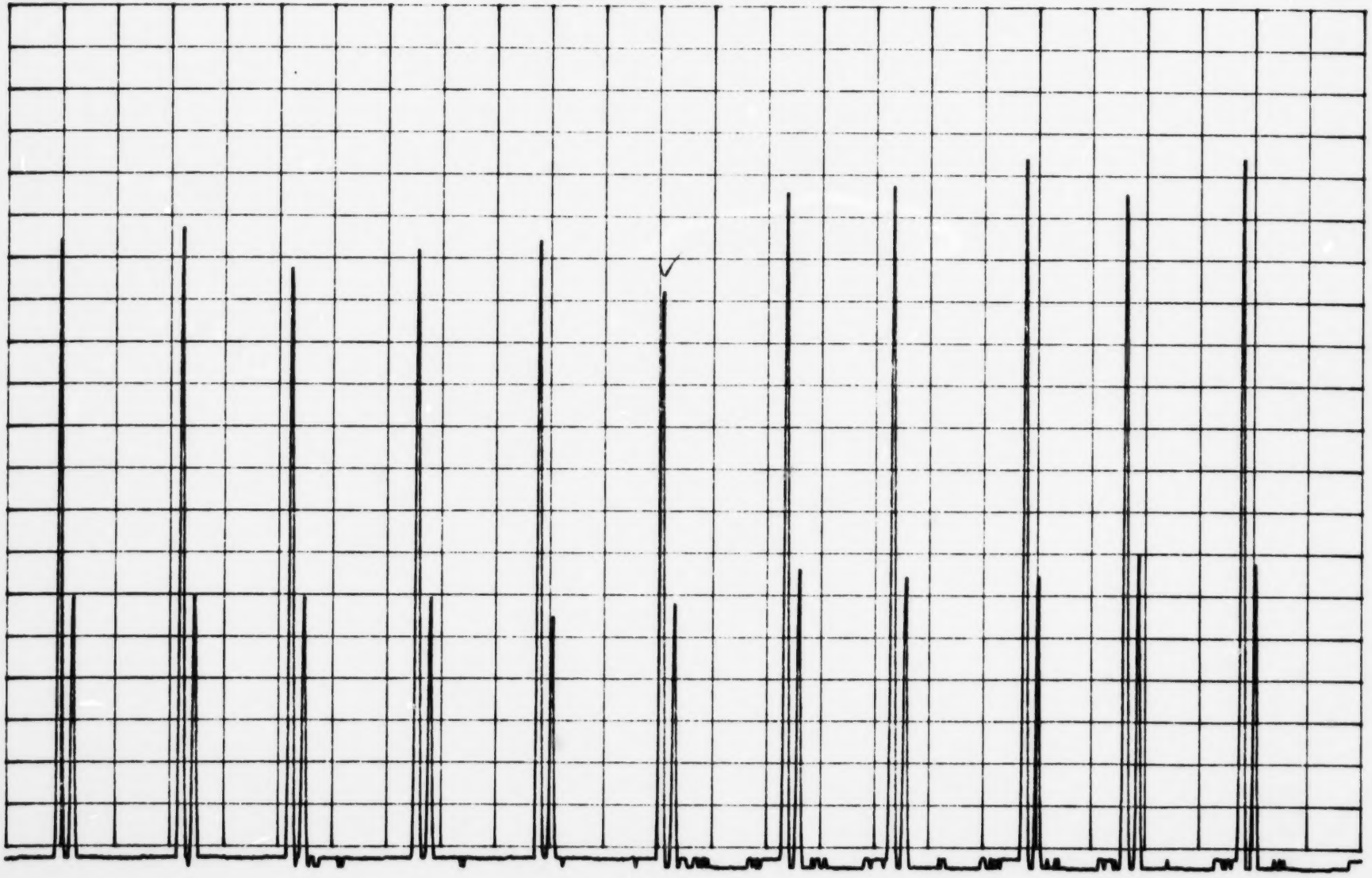
10: 22: 20 22 SEP 86

Essai #3

x: 1 s = 2 ms

y: 1 mV = 4.45 N

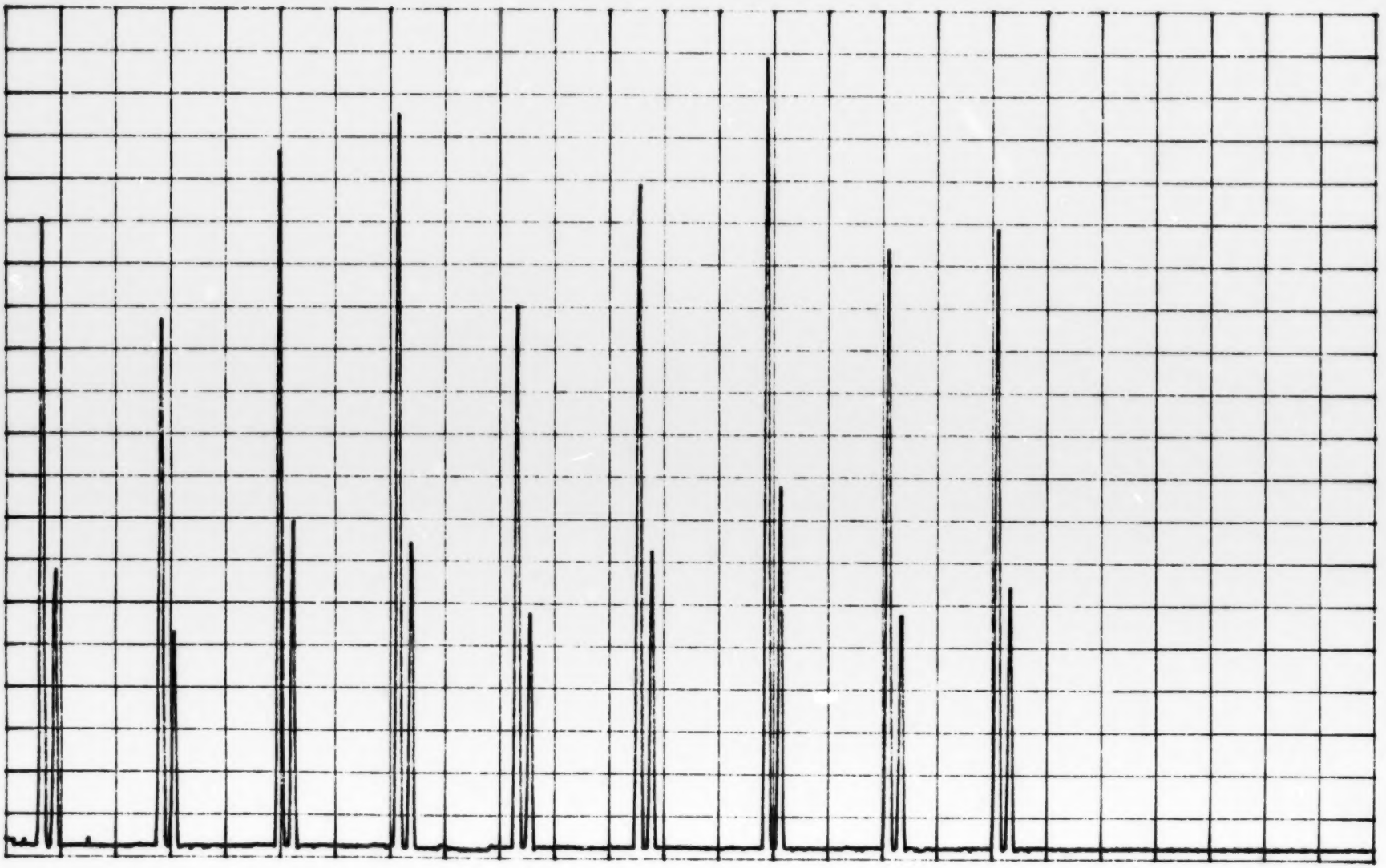
RANGES: 400.0mV 10.00V 10.00V
OFFSETS: 0.0V 0.0V 0.0V
TOTAL TIME: 3.00M
POST-TRIG: 0.0S
TRIGGER: MAN



10: 33: 30 22 SEP 88

Essai #4

x: 1 s = 2 ms

y: 1 mV = 4.45 N

RANGES: 400.0mV 10.00V 10.00V
OFFSETS: 0.0V 0.0V 0.0V
TOTAL TIME: 3.00M
POST-TRIG: 0.0S
TRIGGER: MAN